

# ВЛИЯНИЕ МЕГАПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВЕ

**Ti<sub>50</sub>Ni<sub>25</sub>Cu<sub>25</sub>**

**Сундеев Р.В., Глезер А.М., Шалимова А.В.**

*Руководитель – профессор, д.ф.-м.н. Глезер А.М.*

Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им.

И.П. Бардина, г.Москва, Россия

sundeev55@yandex.ru

В данной работе изучалась природа структурно-фазовых превращений в аморфном и частично кристаллизованном сплаве Ti<sub>50</sub>Ni<sub>25</sub>Cu<sub>25</sub> при варьировании величины мегапластической деформации (МПД) в камере Бриджмена. Образцы для исследования были получены методом спиннингования расплава в атмосфере аргона в виде аморфной ленты, толщиной около 50 мкм и шириной 8 мм.

Исходное кристаллическое состояние того же материала было получено при последующей термической обработке аморфной ленты. Мегапластическую деформацию образцов в обоих исходных состояниях проводили в камере Бриджмена при гидростатическом давлении P=4 ГПа и при комнатной температуре; число полных оборотов подвижной наковальни n варьировалось в пределах : 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9. Проводилось также гидростатическое сжатие образцов без кручения.

Структурные исследования проводились методом просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Использовался микроскоп JEM-200СХ при ускоряющем напряжении 160 и 200 кВ. Образцы для электронной микроскопии готовились с помощью электролитической полировки с последующим ионным утонением. Рентгеновские спектры (РС) получали с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 в излучении CuK<sub>α</sub> при съемке по методу Брегга-Бретано в пошаговом режиме. РС профили сплава, деформированного в различных исходных состояниях представлены на рисунке 1а, б.

При деформации исходно аморфного состояния [1] начальные стадии МПД (n = 1/8, 1/2 и 1) характеризуются появлением в структуре кристаллических фаз (объемная доля кристаллической фазы при n = 1/2 составляет ~80%), затем, при увеличении деформации, объемная доля кристаллической фазы уменьшается и при n=4 сплав полностью аморфизуется. Этот факт подтверждается наличием рентгеноаморфного гало и ЭМ изображениями, где наблюдается типичный для аморфной фазы ультрадисперсный абсорбционный контраст типа "соль—перец". При возрастании деформации до n=6 на РС наблюдается расщепление первичного гало на два синглета, что трактуется как возможная частичная кристаллизация. Действительно, на электронно-микроскопических (ЭМ) изображениях этого состояния помимо аморфной фазы обнаружены

области, заполненные равноосными и дефектными зернами со средним размером 150 нм. Дальнейшее возрастание деформации ( $n = 8$ ) приводит к полной аморфизации сплава (рис. 1а).

Исходно кристаллическое состояние сплава характеризуется наличием структуры пластинчатого мартенсита В19 (рис. 2). По мере роста деформации ( $n = 1$ ) наблюдается деградация пластинчатой структуры В19: регулярное расположение пластин нарушается, наблюдается их раздробление, искривление и даже разворот, а затем переход в аморфное состояние. Одновременно с деградацией пластин мартенсита происходит пластическая деформация образовавшейся аморфной фазы, в результате которой, начиная с  $n=0.5$  ( $\epsilon=1.80$ ), электронно-микроскопически регистрируется появление нанокристаллической В2-фазы с размером отдельных частиц до 10 нм как в полосах сдвига, (рис. 3) так и равномерно распределенных. При деформации ( $n=4$ ) исходно кристаллическая структура становится полностью рентгеноаморфной. Возникает вопрос - одинакова ли природа исходного аморфного состояния и вторичного аморфного состояния, возникшего в ходе деформации исходно кристаллической структуры? Сравнивая данные рентгеновского и электронно-микроскопического исследования, можно предполагать, что природа аморфных состояний после закалки из расплава и после МПД кристаллического сплава различна. Действительно, интегральная ширина гало аморфного состояния после закалки из расплава определяется поликластерной структурой металлического стекла, тогда как интегральная ширина гало после деформации ( $n=4$ ) отражает результат суперпозиции аморфного состояния, полученного в ходе МПД, и нанокристаллов фазы В2 размером до 10 нм, образовавшихся в ходе деформации вторичной аморфной фазы. После деформации  $n=6$  электронно-микроскопически выявлено состояние локальной неустойчивости В2 фазы, которое является промежуточным состоянием мартенситного превращения  $B2 \Rightarrow B19$ .

При деформации  $n=7$  на РС, также как и в исходно аморфном состоянии, наблюдается расщепление первичного гало, которое исчезает при дальнейшем увеличении деформации.

Таким образом, в результате исследования обнаружено, что при осуществлении последовательно нарастающих деформаций в случае исходно аморфного состояния реализовано три цикла прямых и обратных фазовых переходов. В кристаллическом состоянии также наблюдается цикличность в изменении фазового состава материала по мере увеличения деформации в камере Бриджмена (рис. 1б). Для исходно аморфного состояния сплава наблюдается следующая последовательность циклических переходов - 3 полных цикла:



где АФ-аморфная фаза, КФ-кристаллическая фаза.

Для исходно кристаллического - 2.5 полных цикла:

$K\Phi (B19) \Rightarrow A\Phi \Rightarrow K\Phi (B2 \Rightarrow B19) \Rightarrow A\Phi \Rightarrow K\Phi (B2) + A\Phi$

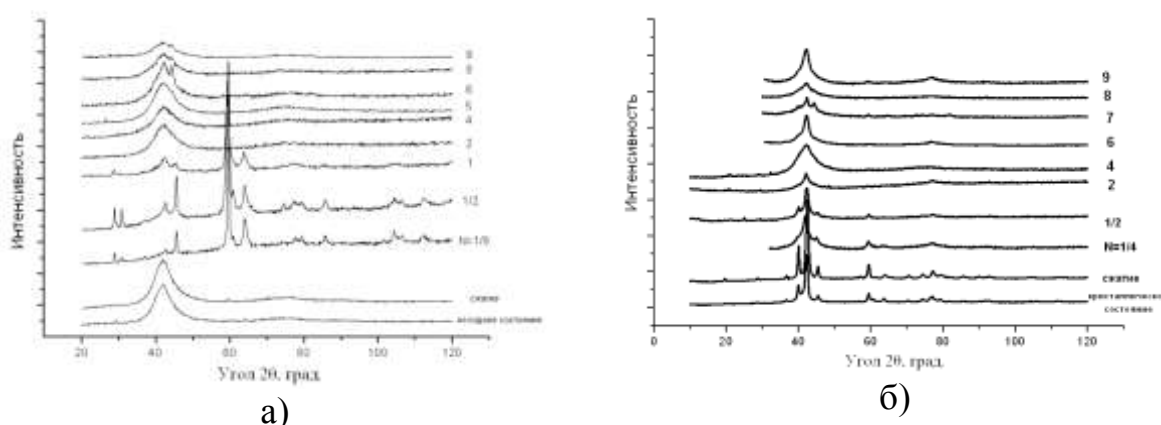


Рисунок 1 – Профили РС сплава  $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ : а- исходное аморфное состояние, б- исходное кристаллическое состояние, после гидростатического сжатия ( $P = 4$ ) без сдвига (сжатие) и после сдвига под давлением с различным числом оборотов

Полученные результаты могут быть объяснены в рамках предложенной ранее модели суперпозиции различных каналов диссипации упругой энергии в процессе МПД [2], а также наличия прямых и обратных термоупругих мартенситных превращений.

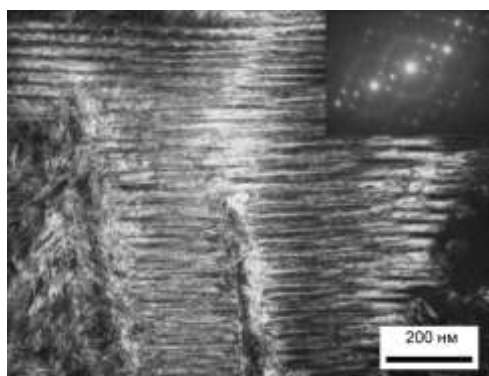


Рисунок 2 – Исходно кристаллическая структура пластинчатого мартенсита

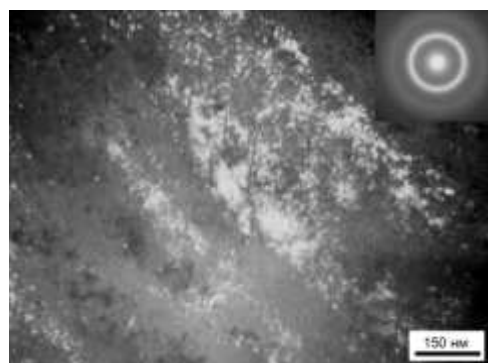


Рисунок 3 – В2-фаза в полосах сдвига

### Литература

1. Г. И. Носова, Шалимова А. В., Сундеев Р. В., Глезер А. М., Панкова М. Н., Шеляков А. В. // Кристаллография, 2009, том 54, № 6, с. 1111-1118
2. Глезер А.М. // Изв. вузов. Физика. 2008. Т. 51. № 5. С. 36.